

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Monitorování datových přenosů v mobilních sítích
Data Traffic Monitoring in Mobile Networks

2016

Bc. Petr Feichtinger

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Feichtinger**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612T059 Mobilní technologie

Téma: **Monitorování datových přenosů v mobilních sítích**
Data Traffic Monitoring in Mobile Networks

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout a ověřit metodiku monitorování datových přenosů v mobilních sítích z pohledu běžného uživatele.

1. Popis možností přenosu dat v mobilních sítích druhé až čtvrté generace.
2. Návrh metodiky monitorování datových přenosů.
3. Praktické ověření navržené metodiky ve vybrané lokalitě.
4. Analýza naměřených dat.

Seznam doporučené odborné literatury:

Sesia S.: LTE - The UMTS Long Term Evolution, Wiley 2009, ISBN 978-0-470-69716-0


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 29.04.2016





doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 28. června 2016


.....
podpis studenta


Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Romanu Šebestovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: *28. června 2016*


.....
podpis zástupce

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na návrh metodiky monitorování datových přenosů od druhé generace po čtvrtou generaci mobilních sítí. Cílem práce je navrhnout univerzální metodiku pro monitorování datových přenosů v mobilních sítích a jejich následném vyhodnocení. Metodika se zakládá na matematických výpočtech, které ve výsledku umožní jednoduše analyzovat datové přenosy v mobilních sítích.

Praktické ověření metodiky vychází z teoretických předpokladů, kde pro samotné měření jsou využity pokročilé nástroje pro monitorování mobilních sítí a jejich analýzu.

Klíčová slova

Datové přenosy, mobilní komunikace, koncové zařízení, mobilní telefon, GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+, LTE, LTE-A, TEMS,

Abstract

The thesis is focused on the design methodology of monitoring data transmissions from the second generation after the fourth-generation mobile network. The aim is to propose a universal methodology for monitoring data traffic in mobile networks and their subsequent evaluation. The methodology is based on mathematical calculations that result to easily analyze data traffic on mobile networks.

Practical verification methodology based on theoretical assumptions, where for the actual measurements are used advanced tools for monitoring mobile network, and analyze them.

Key words

Data transfers, mobile communications, end device, mobile phone, GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+, LTE, LTE-A, TEMS,

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
F	Hz	Frekvence
t	s	Čas

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam	
16-QAM	16-Quadrature Amplitude Modulation	16-stavová kvadrurní amplitudová modulace
2G	Second generation wireless telephony technology	2. generace bezdrátové telefonní technologie
3G	Third generation wireless telephony technology	3. generace bezdrátové telefonní technologie
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Partnerský projekt sítě 3. generace
4G	Fourth generation wireless telephony technology	4. generace bezdrátové telefonní technologie
64-QAM	64-Quadrature Amplitude Modulation	64-stavová kvadrurní amplitudová modulace
8-PSK	8-Phase-Shift Keying	8-stavové klíčování s fázovým posunem
AQM	Audio quality measurement	Měření kvality zvuku
CDMA	Code division multiple access	Kódový multiplex
CID	Cell ID	Unikátní identifikační číslo buněk v síti GSM
CS	Code scheme	Kódovací schéma
DL	Download	Datový přenos směrem ke koncovému zařízení
ECSD	Enhanced Circuit-Switched Data	Vylepšený okruhově orientovaný přenos dat
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	Vylepšené datové přenosy pro evoluci sítě GSM
EGPRS	Enhanced GPRS	Vylepšené GPRS
FDD	Frequency-division duplexing	Frekvenčně dělený duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Frekvenčně dělený mnohonásobný přístup
FTP	File Transfer Protocol	Protokol pro přenos souborů

GMSK	Gaussian minimum-shift keying	Gaussovské klíčování s minimálním posunem
GPRS	General Radio Packet Systém	Obecný rádiový paketový systém GSM
GPS	Global Positioning System	Globální polohovací systém
GSM	Global System for Mobile communications	Dvřetový systém pro mobilní komunikaci
H-FDD	Half Frequency Division Duplex	Polovičně frekvenčně dělený duplex
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data	Vysoko rychlostní datové spojení s přepínáním okruhů
HSPA	High Speed Packet Access	Vysokorychlostní síť třetí generace
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access	Rozvinutá vysokorychlostní síť třetí generace
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access	Vysokorychlostní paketový přístup ve směru ke koncovému zařízení
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access	Vysokorychlostní paketový přístup ve směru od koncového zařízení
HTTP	HyperText Transfer Protocol	Hypertextový přenosový protokol
LAC	Location area identity	Identifikátor lokace
LTE	Long Term Evolution	"Dlouhodobý rozvoj", EPS
LTE-A	LTE Advanced	Pokročilý "dlouhodobý rozvoj", EPS
MCS	Modulation and coding scheme	Kódové a modulační schéma
MIMO	Multiple-input multiple-output	Více vstupů více výstupů
MNC	Mobile network code	Kód mobilního operátora
NMT	Nordic Mobile Telephony	Severská mobilní telefonní síť
OFDMA	Orthogonal FDMA	Ortogonální FDMA
PING	Ping	Odezva
QAM	Quadrature amplitude modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
QPSK	Quadrature phase-shift keying	Kvadrurní klíčování fázovým posuvem
Rx	Rx level	Výkon na vstupu přijímače

SC-FDMA	Single Carrier FDMA	FDMA s jednou nosnou
SIM	Subscriber identity module	Účastnická identifikační karta
TDD	Time division duplex	Časově dělený duplex
Tx	Tx level	Výkon na výstupu přijímače
UMTS	Universal Mobile Telephone Systém	Univerzální mobilní telefonní systém
UP	Upload	Datový přenos směrem od koncového zařízení
URL	Uniform Resource Locator	Jednotná adresa zdroje
WCDMA	Wideband CDMA	Širokopásmové CDMA
Wi-Fi	Wireless Ethernet Compatibility Aliance	Bezdrátova technologie přenosu dat

Obsah

Úvod.....	- 14 -
1 Možnosti přenosu dat v mobilních sítích	- 15 -
1.1 Druhá generace.....	- 15 -
1.1.1 GSM	- 15 -
1.1.2 GPRS	- 16 -
1.1.3 EDGE	- 18 -
1.2 Třetí generace.....	- 18 -
1.2.1 UMTS.....	- 18 -
1.2.2 HSPA.....	- 19 -
1.2.3 HSPA+	- 20 -
1.2.4 LTE.....	- 20 -
1.3 Čtvrtá generace.....	- 21 -
1.3.1 LTE Advanced	- 21 -
2 Metodika měření	- 22 -
2.1 Předpoklady měření.....	- 22 -
2.2 Délka měření	- 22 -
2.2.1 Krátkodobé měření	- 22 -
2.2.2 Dlouhodobé měření	- 23 -
2.3 Matematické postupy	- 23 -
2.3.1 Aritmetický průměr	- 23 -
2.3.2 Rozptyl	- 24 -
2.3.3 Směrodatná odchylka	- 24 -
2.3.4 Interval spolehlivosti	- 24 -
2.3.5 Šikmost a špičatost	- 25 -
2.3.6 Medián.....	- 26 -
2.3.7 Kvartil.....	- 26 -
2.3.8 Variační koeficient	- 27 -
2.4 Měřicí zařízení.....	- 27 -
2.4.1 Použité měřicí zařízení	- 27 -

2.4.2	TEMS Pocket	- 28 -
3	Praktické měření.....	- 35 -
3.1	Dlouhodobé měření.....	- 35 -
3.1.1	2. generace.....	- 35 -
3.1.2	3. generace.....	- 36 -
3.1.3	4. generace.....	- 37 -
3.2	Krátkodobé měření.....	- 37 -
3.2.1	2. generace.....	- 37 -
3.2.2	3. generace.....	- 39 -
3.2.3	4. generace.....	- 40 -
3.3	Nástroje pro vyhodnocení měření	- 42 -
3.3.1	TEMS Export Tool.....	- 42 -
3.3.2	STATGRAPHICS Centurion 16.1.11	- 43 -
3.3.3	Visual Studio 2013	- 43 -
4	Analýza naměřených hodnot.....	- 45 -
4.1	Dlouhodobé měření.....	- 45 -
4.1.1	2. Generace.....	- 45 -
4.1.2	3. generace.....	- 47 -
4.2	Krátkodobé měření.....	- 50 -
4.2.1	2. generace.....	- 50 -
4.2.2	3. generace.....	- 51 -
4.2.3	4. generace.....	- 51 -
	Závěr	- 53 -
	Použitá literatura	- 54 -
	Seznam příloh.....	- 55 -

Úvod

Práce se bude zabývat problematikou při navrhování metodiky pro měření propustnosti mobilních datových sítí. Tato diplomová práce je věnována návrhu metodiky, která stanovuje způsob měření a hodnocení datové propustnosti druhé, třetí a čtvrté generace mobilních sítí. Způsob měření a hodnocení datových přenosů je obsažen v samostatném metodickém návodu.

První část práce se zabývá teoretickým popisem jednotlivých technologií. Práce popisuje teoretické možnosti jednotlivých technologií. V rámci popisu jsou zmíněny použité technologie pro datovou komunikaci a jejich nejvyšší možné přenosové rychlosti.

Druhá část práce se zabývá návrhem metodiky, kde je popsáno, jaké matematické postupy mají být použity pro všestranný popis propustnosti datové sítě v závislosti na zvoleném modelu testování mobilní sítě.

Třetí část práce se zabývá ověřením návrhu metodiky, kde byly pro tyto účely použity speciální nástroje pro monitorování datových sítí ve vybraných lokalitách. Praktické ověření metodiky popisuje využití teoretických předpokladů pro výběr měřicí lokality.

Ve čtvrté části se budu zabývat analýzou naměřených hodnot. Analýza bude rozdělena podle typů měření a generace sítě.

1 Možnosti přenosu dat v mobilních sítích

První mobilní síť, která se nejvíce v Evropě používala, byla NMT, označována taky za mobilní síť první generace (1G). Síť podporovala digitální přenos jen minimálně.

Druhá generace mobilních sítí (2G) byla již plně digitální, ale pořád byla zaměřena na přenos hlasu. Síť GSM byla koncipována pro přenos lidského hlasu a tak princip fungování byl přizpůsoben pro tyto účely. Přenos dat byl sice podporován, ale velmi neefektivním způsobem. Pro potřeby 2G byla vytvořena paralelní síť, která sloužila pro přenos dat. Technologie GPRS "2.5 generace" a EDGE "2.75 generace".

Třetí generace mobilních sítí (3G) je koncipována hlavně pro přenos dat. Po uvedení standardu ale služba nenabízela přenosové rychlosti, jaké slibovala, a tak později byla rozšířena o různé technologie, které měly dosáhnout slibovaných přenosových rychlostí.

Čtvrtá generace mobilních sítí (4G) je tvořena tak, aby přenosové rychlosti byly několikrát rychlejší než v předešlé generaci.

1.1 Druhá generace

1.1.1 GSM

Přenosovou technologií v síti GSM je HSCSD, jež je zahrnuta v specifikaci 3GPP "Release 96", která byla představena v roce 1997. Technologie vychází z myšlenky, že v hovoru se využívají dva kanály pro možnost obousměrné komunikace, kde oba kanály byly rezervované po celou dobu přenosu, a používá přepojování okruhů k přenosu informací. Když se oba kanály využily pro potřeby přenosu data, tak tato varianta byla pojmenována CSD. Technologie byla založena na přepojování okruhů CSD, kde mezi příjemcem a odesílatelem vzniká souvislý datový tok, a tedy se jedná o nepaketový přenos dat.

HSCSD byla navržena tak, aby se nemusela složitě upravovat technologie. Pro přenos dat se tedy používá standartní hovorové timesloty, které mají přenosovou rychlost 33,8 kb/s. Rezervovaná rychlost pro celý timeslot s nutnou režii se pochybovala mezi 9,6 kbit/s a 14,4 kbit/s dle použité režie přenosu, kterou si poskytovatel volí sám.

Pro navýšení přenosové kapacity se používá navýšení současně používaných timeslotů. Nevýhodou je nedostatečný počet timeslotů pro datový přenos z důvodu vytížení sítě pro hovory, které mají větší prioritu. Podle počtu použitých hovorových kanálů se určovala třída HSCSD. Dle podpory ze strany koncového zařízení byla určena jeho třída. Nejvyšší počet současně využívaných timeslotů je 8, tedy teoretická rychlost byla $8 \times 14,4 \text{ kb/s} = 115,2 \text{ kb/s}$ v jednom směru.

Třída	Nejvyšší počet timeslotů		
	Rx	Tx	Souběžně
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
9	3	2	5
10	4	2	5
12	4	4	5
13	3	3	6
18	8	8	16

Tabulka 1.1: Třídy HSCSD

Nevýhodou obou variant byla rezervace celého přenosového kanálu i za předpokladu, že data se přes kanál nepohybují.

1.1.2 GPRS

Specifikace přenosu dat, která byla označována jako "2.5G". Přenos dat pomocí GPRS funguje na stejném principu využívání kanálů jako HSCSD, kde se pro přenos dat využívají timesloty. Na rozdíl od předešlých variant, GPRS nevyužívá hlasovou síť, ale paralelní datovou síť a tedy nedochází k odklonění volných timeslotů pro hovory. Technologie pro přenos dat používá paketově přepínanou technologii, kde jeden přenosový kanál je sdílen mezi více uživateli. Tato myšlenka tedy předpokládá, že pokud nepřenášíme data, tak zbytečně nezatěžujeme síť. Tedy GPRS neblokuje celou cestu, ale používá kanály jenom v případě potřeby přenosu dat. Technologie uměla přidělený timeslot o šířce 33,8 kbit/s využít pro šířku pouze 22,8 kbit/s, ostatní přenosová rychlost byla určena pro nezbytně nutnou režii. GPRS tuto přenosovou kapacitu uměla rozdělit na čtyři kódovací schémata. Když podmínky nebyly optimální, tak docházelo k navýšení režie pro stabilní přenos a ke snížení přenosové rychlosti. V tabulce vidíme rozdělení kódovacích schémat.

Možnosti přenosu dat v mobilních sítích

Kódovací schéma	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
Max. kbit/s na 1 kanál	9,05	13,4	15,6	21,4
Max. kbit/s na 8 kanálů	72,4	107,2	124,8	171,2

Tabulka 1.2: *Kódovací schémata GPRS*

Technologie mohla také využívat více timeslotů najednou, dle počtu použitých timeslotů, maximálně 8 v každém směru.

Koncová zařízení se dělí do tříd:

- Class A - umožňuje souběžné využívání datových přenosů a hlasu
- Class B - zařízení se musí rozhodnout, zda bude používat datové přenosy nebo hlas
- Class C - zařízení podporuje pouze datové přenosy

Třídy se dělí dle podporovaných počtů timeslotů, které můžou souběžně využít:

Třída	Nejvyšší počet timeslotů		
	Rx	Tx	Souběžně
	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	4	2	4
7	3	3	4
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5
32	5	3	6
34	5	5	6

Tabulka 1.3: *Třídy GPRS*

1.1.3 EDGE

Technologie obsahuje metody, které zdokonalují využití úzkopásmového přenosu a bývá označována jako "2.75G". Pro navýšení datového přenosu se zaměnila modulace z GMSK na osmifázovou klíčovanou modulaci 8-PSK. Z důvodu navýšení přenášených bitů v jednom symbolu, je kladen vyšší důraz na synchronizaci, protože signál je více náchylný na šum a zkreslení. EDGE zahrnuje a vylepšuje obě předešlé technologie, které jsou označeny EGPRS a ECSD. V České republice je operátory poskytována varianta EGPRS, tedy technologie EDGE fungující na principu GPRS, kde se pro přenos dat využívá paketový přenos. Pomocí dokonalejších metod pro modulaci, navyšuje přenosovou rychlost z 22,8kbit/s na 68,4kbit/s. S nutnou režií pro přenos signálu můžeme dosáhnout teoretické rychlosti 59,2 kbit/s v jednom timeslotu. Podle zvoleného kódovacího schématu můžeme určit počet bitů přenášených v jednom timeslotu.

Schéma	MCS-1	MCS-2	MCS-3	MCS-4	MCS-5	MCS-6	MCS-7	MCS-8	MCS-9
kbit/s	8,8	11,2	14,8	17,6	22,4	29,6	44,8	54,4	59,2

Tabulka 1.4: *Kódovací schémata EDGE*

EDGE je rozšířením GPRS, a proto mají společné i rozdělení koncových zařízení dle podpory tříd, které udávají počty souběžně pracujících timeslotů. EDGE tedy má totožné třídy 1 až 12 s GPRS.

1.2 Třetí generace

Třetí generace mobilních sítí byla představena v roce 1999, kde její vývoj byl ukončen v roce 2009. V průběhu let byly jednotlivé specifikace označovány od "3G" po "3.9G".

1.2.1 UMTS

Po nasazení technologie byla rychlost přenosu dat do 384 kbit/s pro nepochybný se terminál. Technologie je založena na kódovém oddělení přenášených kanálů WCDMA pro přístup. Pro přenos využívá dva přenosové módy: FDD a TDD. TDD je časově dělený duplex vhodný pro vysokorychlostní datové přenosy. TDD využívá nepárové pásmo 1910 - 1920 MHz a 2010 - 2025 MHz. FDD je frekvenční duplex vhodný pro středně rychlé datové přenosy s velkoplošným pokrytím a používá párové pásmo 1920-1980 MHz a 2110-2170 MHz. Přenosové rychlosti jsou sdílené pro všechny uživatele v jedné buňce. Práci na standardu zajišťovalo od roku 1998 mezinárodní sdružení 3GPP, které vydalo první verzi v roce 1999, označovanou jako "Release 99" nebo také "3G".

UMTS vychází z technologie CDMA a její modifikace WCDMA. Po celou dobu přenosu se využívá jedno frekvenční pásmo, kde pro rozeznání jednotlivých uživatelů slouží binární kód, který má každý uživatel jiný.

1.2.2 HSPA

Specifikace 3GPP "Release 6" je označována jako síť 3,75G. Někdy se také používá označení HSPA, které značí, že daná síť nabízí HSUPA i HSDPA.

1.2.2.1 HSDPA

Technologie přinesla do UMTS navýšení sdílené rychlosti ve směru k uživatelům na maximální rychlost 14,4 Mbit/s na jednu buňku. Technologie se rozděluje na 12 tříd, kde každá třída určuje maximální povolenou rychlost, modulaci, maximální počet přidělených HS-DSCH kódů. Technologie byla poprvé uvedena v specifikaci 3GPP "Release 5" a byla označována jako 3,5G. Specifikace byla vydána v roce 2002.

Přenosové rychlosti a jejich zařazení to tříd je znázorněno v tabulce 1.5.

Třída	Nejvyšší počet kódů HS-DSCH	Modulace	Rychlost [Mbit/s]
1	5	QPSK a 16-QAM	1,2
2	5	QPSK a 16-QAM	1,2
3	5	QPSK a 16-QAM	1,8
4	5	QPSK a 16-QAM	1,8
5	5	QPSK a 16-QAM	3,6
6	5	QPSK a 16-QAM	3,6
7	10	QPSK a 16-QAM	7,3
8	10	QPSK a 16-QAM	7,3
9	15	QPSK a 16-QAM	10,2
10	15	QPSK a 16-QAM	14,4
11	5	QPSK	0,9
12	5	QPSK	1,8

Tabulka 1.5: Přehled tříd HSDPA

1.2.2.2 HSUPA

Po navýšení přenosové rychlosti k uživateli bylo zapotřebí navýšit přenosovou rychlost od uživatele. Technologie zavedla v šesti kategoriích povolenou maximální rychlost odesílání dat od uživatele na 5,76 Mbit/s. Technologie byla poprvé uvedena ve specifikaci 3GPP "Release 6", která byl vydána v roce 2004 a označována jako 3,75G.

Přenosové rychlosti a jejich zařazení to tříd je znázorněno v tabulce .

Třída	Nejvyšší počet kódů HSUPA	Nejmenší faktor rozprostření	Modulace	Rychlost [Mbit/s]
1	1	4	QPSK	0,73
2	2	4	QPSK	1,46
3	2	4	QPSK	1,46
4	2	2	QPSK	2,92
5	2	2	QPSK	2,00
6	4	2	QPSK	5,76

Tabulka 1.6: *Přehled tříd HSUPA*

1.2.3 HSPA+

Technologie byla uvedena ve specifikaci 3GPP "Release 7" a označována jako "3,9G". Specifikace byla vydána v roce 2007. Jedná se o vylepšení HSDPA a HSUPA kde pro navýšení datové rychlosti se začíná využívat technologie MIMO. Jedná se o zavedení principu vícecestného šíření signálu do rádiové komunikace. Pomocí MIMO můžeme snížit počet přenesených bitových chyb a zároveň navýšit propustnost datové sítě s větším dosahem dostupnosti sítě. Systém využívá více antén, což vede k vytvoření více samostatných rádiových kanálů mezi koncovým zařízením a vysílačem.

1.2.4 LTE

Technologie uvedena ve specifikaci 3GPP "Release 8" a označována jako "3,9G". Specifikace byla vydána v roce 2008. Navazuje na technologii HSPA+. Rozdíl oproti předchozímu standartu HSPA+ je využití ve směru k uživateli vícenásobného přístupu na základě OFDMA. Ve směru od uživatele technologie využívá frekvenční dělení s jednou nosnou SC-FDMA. Specifikace udává rychlosti k uživateli 300 Mbit/s a 75 Mbit/s od uživatele pro šířku kanálu 20 MHz. Specifikace využívá technologii MIMO.

Kategorie	Šířka pásma [MHz]	DL MIMO	Duplexní spojení	Modulace		Rychlost přnosu dat [Mbit/s]	
				UL	DL	UL	DL
1	1,4, 3, 5, 10,15,20	Nepodporuje	FDD, H-FDD, TDD	QPSK, 16QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	5	10
2		Až 2x2				25	51
3						51	102
4						51	150
5		Až 4x4		QPSK, 16QAM, 64QAM		75	300

Tabulka 1.7: Přehled tříd LTE

1.3 Čtvrtá generace

1.3.1 LTE Advanced

Technologie uvedena v 3GPP "Release 10" a označovaná jako "4G". Navazuje na technologii LTE. Rozdílem oproti předchozímu standartu UMTS je navýšení rychlosti k uživateli na 1 Gbit/s a 500 Mbit/s od uživatele pro šířku kanálu 20 MHz pro stacionární koncová zařízení. Specifikace určuje, že pro koncová zařízení, která se pohybují vysokou rychlostí, do 350 km/h, má rychlost dosahovat 100 Mbit/s ke koncovému zařízení a 50 Mbit/s od koncového zařízení. Na rozdíl od UMTS by udávaná rychlost měla být reálnou přenosovou rychlostí ke koncovému zařízení. Technologie LTE-A využívá k dosažení maximálních přenosových rychlostí takzvanou agregaci pásem. Data jsou v takovém případě přenášena zároveň ve více frekvenčních pásmech.

2 Metodika měření

Následující kapitola se bude zabývat návrhem metodiky měření datových přenosu v mobilní síti, kde budou představeny jednotlivé části metodiky měření.

2.1 Předpoklady měření

Pro měření rychlosti přenosu dat se použije měřicí terminál nebo ekvivalentní zařízení, které bude obsahovat aplikaci umožňující zaznamenat časový průběh rychlosti přenosu dat v předem zvoleném intervalu a následné statistické výpočty. Měření bude probíhat v síti vybraného operátora vůči serveru, který bude mít garantovanou konektivitu do sítě alespoň 1 Gbit/s. Měřicí terminál bude obsahovat SIM kartu, která bude mít povolené datové přenosy s nejvyšším dostupným datovým limitem.

2.2 Délka měření

Přípravu můžeme rozdělit podle délky měření. Jestliže budeme provádět krátkodobé měření, tak musíme provést teoretické výpočty pro omezený počet opakování měření tak, abychom mohli s určitou pravděpodobností tvrdit, že naměřená data jsou statisticky významná. Pro dlouhodobé měření nejsme omezování počtem opakování, proto nemusíme provádět potřebný výpočet, ale z důvodu energetické náročnosti koncového zařízení musíme volit umístění tak, abychom byli schopni dodávat energii do koncového zařízení a nenarušili, tak průběh měření z důvodu výpadku energie.

2.2.1 Krátkodobé měření

Jedním ze základních kritérií na měřicím místě je požadovaná přesnost a spolehlivost určení stanoveného parametru, obvykle střední hodnoty, kterou zjistíme dostatečným počtem opakovaných měření.

Pro přesný výpočet počtu opakování budeme muset určit směrodatnou odchylku " σ ".

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.1)$$

Kde:

σ - směrodatná odchylka

N - počet měření

x_i - naměřená hodnota

\bar{x} - průměrná hodnota

Jestliže nemáme provedena žádná měření, směrodatnou odchylku je nutno odhadnout (např. z vlastní zkušenosti s podobnými daty nebo z údajů z literatury apod.) nebo zadat podle

výsledku z měřených dat nebo z předvýběru (malý výběr předběžně měřených dat, který slouží k získání podkladů k následnému výpočtu velikosti výběru).

Přesnost odhadu "D" určuje přesnost stanovení střední hodnoty. Je to vlastně polovina intervalu spolehlivosti střední hodnoty. Pomocí ní určujeme, že neznámou střední hodnotu chceme určit s přesností $\bar{x} \pm D$.

Hladina významnosti " α " je hodnota, s jejíž pomocí stanovíme spolehlivost určení velikosti výběru. Platí, že na základě výběru o vypočítané velikosti "N" je střední hodnota základního souboru určena se spolehlivostí $1 - \alpha$

Kvantil t-rozdělení pro hladinu významnosti $\alpha/2$ a pro n-1 stupňů volnosti

Vzorec pro výpočet:

$$N = t_{\alpha/2}^2 * \frac{\sigma^2}{D^2} \quad (2.2)$$

Kde:

N - počet měření

t - kvantil t-rozdělení

α - hladina významnosti

σ - směrodatná odchylka

D - přesnost odhadu

2.2.2 Dlouhodobé měření

Pro dlouhodobé měření, kde budeme pozorovat chování měřených parametrů v relativně dlouhém čase, musíme zajistit stálé a neměnné podmínky v měřeném místě po celou dobu měření. Vzhledem k povaze dlouhodobého měření nejsme limitováni minimálním počtem opakování pro získání statisticky spolehlivého souboru dat.

2.3 Matematické postupy

Pro vyhodnocení naměřených hodnot určíme průměr, rozptyl, směrodatnou odchylku, intervaly spolehlivosti, minimum, maximum, šikmost, špičatost, střední hodnotu, medián, spodní kvartil, horní kvartil, variační koeficient. Veškeré tyto hodnoty nám poskytnou všestranný pohled na propustnost datové sítě

2.3.1 Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je definován jako součet všech hodnot náhodné proměnné x_i dělený počtem hodnot. Vypočtený průměr pak udává, jaká stejná část z celkových hodnot sledované číselné proměnné připadá na jednu jednotku souboru. Nevýhoda aritmetického průměru spočívá, především v tom, že byť ojedinělé extrémně velké či malé hodnoty mohou průměr

značně zkreslit. Extremní hodnotu rozumíme takovou, která se může vyskytovat ojediněle a oproti ostatním zjištěným hodnotám jsou příliš malé nebo příliš velké.

Aritmetický průměr spočítáme pomocí vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.3)$$

Kde:

\bar{x} - průměrná hodnota

N - počet měření

x_i - naměřená hodnota

2.3.2 Rozptyl

Rozptyl ukazuje, jak jsou jednotlivé hodnoty „rozptýleny“ okolo střední hodnoty, například aritmetického průměru. Velikost rozptylu se zvyšuje při zvětšující se variabilitě hodnot sledované proměnné.

Rozptyl je definován jako střední hodnota kvadrátu odchylek od střední hodnoty.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.4)$$

Kde:

σ^2 - rozptyl

N - počet měření

x_i - naměřená hodnota

\bar{x} - průměrná hodnota

2.3.3 Směrodatná odchylka

Podobně jako rozptyl určuje, jak moc jsou hodnoty rozptýlené či odchýlené od průměru hodnot. Směrodatná odchylka je rovna odmocnině z rozptylu. Vzorec 2.1.

2.3.4 Interval spolehlivosti

Urči interval, ve kterém se nachází střední hodnota s požadovanou pravděpodobností. Pro interval spolehlivosti zavádíme hladinu významnosti α , která nejčastěji nabývá hodnot mezi 0,9 až 1.

Interval spolehlivosti je definován vzorcem:

$$\left(\bar{x} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma}{\sqrt{N}}; \bar{x} + u_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \right) \quad (2.5)$$

Kde:

σ - směrodatná odchylka

N - počet měření

α - hladina významnosti

\bar{x} - průměrná hodnota

u_{α} - kvantil normovaného normálního rozdělení (tabulková hodnota, příloha A)

2.3.5 Šikmost a špičatost

Mezi další známé popisné charakteristiky můžeme zařadit tzv. míry tvaru, tj. šikmosti a špičatosti. Tyto charakteristiky nám pomáhají určovat, jak moc se rozdělení dat, které jsme získali, podobá nebo se naopak odlišuje od normálního rozdělení, tj. Gaussova rozdělení. K jejich zjišťování se užívá tzv. centrálních momentů třetího a čtvrtého stupně, přičemž centrální moment k -tého stupně m_k lze obecně definovat následovně:

$$m_k = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^k}{N} \quad (2.6)$$

Kde:

m_k - centrální moment

x_i - naměřená hodnota

\bar{x} - průměrná hodnota

N - počet měření

k - stupeň

Šikmost je charakteristikou, jež nám určuje, kterým směrem je naše proměnná asymetricky rozložena. Rozlišujeme šikmost kladnou, též pravostrannou, kdy se většina získaných hodnot nachází pod průměrem a šikmost zápornou (levostrannou), kdy se většina hodnot naopak nachází nad průměrem. Míru této asymetrickosti rozložení pak určuje koeficient šikmosti, který získáme pomocí centrálního momentu stupně druhého a třetího následovně:

$$\gamma_1 = \frac{m_4}{m_2^3} \quad (2.7)$$

Kde:

γ_1 - šikmost

m_k - centrální moment

Špičatost udává, jak se v rozložení četností vyskytují velmi vysoké a velmi nízké hodnoty. I tuto míru lze udat pomocí koeficientu, k jehož výpočtu se opět využívají centrální momenty a na základě jejich výsledků lze usuzovat na více špičaté než normální rozdělení (tzv. leptokurtické) či méně špičaté než normální rozdělení (tzv. platykurtické). Podobně jako u koeficientu šikmosti i zde $\gamma_2 = 0$ znamená rozdělení normální. Odchylky od nulové hodnoty znamenají, že rozdělení je špičatější (kladný koeficient) nebo plošší (záporný koeficient):

$$\gamma_2 = \frac{m_4}{m_2^2} - 3 \quad (2.8)$$

Kde:

γ_2 - špičatost

m_k - centrální moment

2.3.6 Medián

Je to naměřená hodnota jedince stojícího uprostřed řady všech prvků souboru seřazených podle velikosti naměřených hodnot. Je-li rozsah statistického souboru sudé číslo, pak je medián určen jako aritmetický průměr dvou prostředních hodnot. Výhodou je, že jeho velikost není ovlivněna odlehlými pozorováními.

Median pro populaci X o velikosti $|X| = N$, jejíž prvky jsou x_i a jsou seřazené od nejmenšího po největší:

$$\text{Median}(X) = x_{(N+1)/2} \quad (2.9)$$

2.3.7 Kvartil

Rozděluje sadu všech prvků souboru seřazených podle velikosti naměřených hodnot. Jedná se o tři body, které soubor rozděluje na čtyři stejné skupiny, z nichž každá představuje čtvrtinu vzorku dat. Spodní kvartil se rovná 25. percentilu dat. Střední kvartil se rovná 50. percentilu dat, označuje se i jako medián. Horní kvartil se rovná 75. percentilu dat.

Spodní kvartil:

$$P(X \leq Q_1) \geq 0,25 \text{ a zároveň } P(X > Q_1) \geq 0,75 \quad (2.10)$$

Kde:

P - Pravděpodobnostní funkce

X - náhodná veličina

Q_1 - spodní kvartil

Střední kvartil:

$$P(X \leq Q_2) \geq 0,50 \text{ a zároveň } P(X > Q_2) \geq 0,50 \quad (2.11)$$

Kde:

P - Pravděpodobnostní funkce

X - náhodná veličina

Q_2 - střední kvartil

Horní kvartil:

$$P(X \leq Q_3) \geq 0,75 \text{ a zároveň } P(X > Q_3) \geq 0,25 \quad (2.12)$$

Kde:

P - Pravděpodobnostní funkce

X - náhodná veličina

Q_3 - horní kvartil

2.3.8 Variační koeficient

Variační koeficient udává, z kolika procent se podílí směrodatná odchylka na aritmetickém průměru. Používat variační koeficient se doporučuje zejména při srovnání variability dvou různorodých proměnných, které jsou vyjádřeny v různých měrných jednotkách.

$$V = \frac{\sigma * 100}{\bar{x}} \quad (2.10)$$

Kde:

V - variační koeficient

σ - směrodatná odchylka

\bar{x} - průměrná hodnota

2.4 Měřicí zařízení

Pro získání objektivních dat je zapotřebí koncové zařízení, které podporuje testování technologií (GPRS/EDGE/HSPA/LTE) v nejnovějším standardu specifikovaném organizací 3GPP, nebo jiné měřicí zařízení, které splňuje tyto standardy.

2.4.1 Použité měřicí zařízení

Pro měření sítě byla využita technologie společnosti Ascom, která se specializuje na monitorování rádiového signálu. V katalogu společnosti je mnoho specializovaných nástrojů pro

monitorování, kde jeden z nástrojů je TEMS Pocket, který jsem použil pro účely ověření navrhnuté metodiky.

TEMS Pocket je univerzální měřicí nástroj, který umožňuje v závislosti na použitém přístroji monitorovat pokročile parametry rádiové sítě, které nejsou pomocí běžně dostupných nástrojů dostupné.

Pro ověření metodiky jsem měl dostupná dvě koncová zařízení, která se lišila v podporovaných technologiích pro datové sítě. Přehled zařízení a podporovaných specifikací je znázorněn níže, kde v závorkách je uvedena nejvyšší dostupná rychlost přenosu dat mezi koncovým zařízením a vysílačem.

	Sony Xperia Arc S LT18i	Sony Xperia V LT25i
TEMS Pocket	13.0	13.1
GPRS/EDGE	Class 12 (236,8 kbit/s)	Class 12 (236,8 kbit/s)
HSDPA	Cat. 10 (14,4 Mbit/s)	Cat. 24 (42 Mbit/s)
HSUPA	Cat. 6 (5,8 Mbit/s)	Cat. 6 (5,8 Mbit/s)
LTE	Nepodporuje	Cat. 3 (100/50 Mbit/s)

Tabulka 1.8: *Přehled koncových zařízení*

2.4.2 TEMS Pocket

Pro měření využijeme aplikaci TEMS Pocket 13.0 a 13.1, která je nainstalována v použitém mobilním telefonu. Aplikace umožňuje vytvoření automatických skriptů pro měření zvolených parametrů sítě. Pro měření propustnosti jsem zvolil odpovídající velikosti datového souboru následovně:

- 2. generace - 2000 kbit
- 3. generace - 20000 kbit
- 4. generace - 100000 kbit

Z legitimního důvodu, zde nemůžu uvést, které servery jsem použil pro ověření navrhnuté metodiky.

2.4.2.1 Skript

Skripty slouží k automatickému testování služeb. Ve skriptu jsou povoleny následující funkce:

- Email
- FTP (stahování a odesílání dat)
- HTTP (GET nebo POST)
- YouTube

- Ping
- SMS
- Hovor
- AQM
- Hovor a Data
- Paralelní funkce
- Kontrolní funkce
- Klidový stav
- Zaznamenání IP komunikace
- Odeslání Logu
- Prozkoumání mobilní sítě
- Čekání
- Prozkoumání Wi-Fi sítě

Jednotlivé funkce skriptu jsou automaticky zaznamenány do protokolového souboru, kde soubor je uložen v mobilním zařízení, nebo ho můžeme automaticky posílat pomocí FTP nebo HTTP na námi určené úložiště pomocí funkce pro odeslání logu.

Skript se může spouštět manuálně nebo automaticky v nastavených časech. Když je skript spuštěn, tak se vykonávají funkce skriptu tak, jak jsme si zvolili jejich pořadí. Jednou spuštěný skript se bude vykonávat tak dlouho, jak je nadefinováno v nastavení skriptu. Spuštěný skript se přeruší ručně nebo na základě chybové události, například, že v mobilním zařízení vyčerpáme paměť určenou pro protokoly.

2.4.2.2 *Nastavení skriptu*

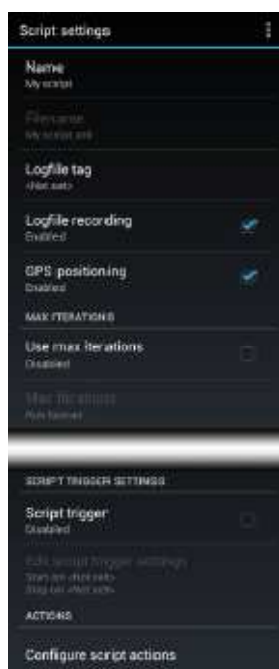
Pro zpřístupnění nastavení skriptu zvolíme v nastavení editor skriptu.



Obrázek 1.1: *Editor skriptů*

Na obrázku 1.3 můžeme vidět seznam nadefinovaných skriptů, pro přidání nového skriptu stiskneme tlačítko v pravém horním rohu a zvolíme možnost "Nový skript".

Nyní můžeme definovat základní parametry skriptu.



Obrázek 1.2: *Základní nastavení skriptu*

Parametry, které můžeme nastavit:

- 'Name': jméno skriptu
- 'Filename': jméno souboru s nastavením skriptu, které se skládá z jména skriptu a přípony '.xml'
- 'Logfile tag': zde definujeme jméno logu, který je přidán ke každému logu, který se skládá z názvu skriptu, data a času uložení logu

- 'Logfile recording': povoluje, zda má zaznamenávat hodnoty do logu při vykonávání skriptu
- 'GSP positing': povoluje, zda má zaznamenat GPS souřadnice místa, kde se vykonává skript
- 'Use max iterations': možnost určuje, kolikrát se má vykonat skript
- 'Script trigger': možnost povoluje naplánování spouštění skriptu
- 'Configure script action': po nastavení těchto parametrů můžeme nastavit, které funkce se mají spouštět v daném skriptu. Zobrazí se nám seznam přiřazených funkcí, kde pomocí tlačítka v pravém horním rohu vybereme možnost 'New Action' a vybereme požadovanou funkci

2.4.2.3 Nastavení FTP



Obrázek 1.3: Nastavení FTP

- 'Command': Get nebo Put
- 'Server': adresa FTP serveru ve formátu [ftp://]<host>[:port], kde <host> je IPv4 adresa serveru nebo název serveru. Port je nepovinný parametr, ale doporučuje se udávat (výchozí port má číslo 21)
- 'Directory': složka na FTP serveru, kde budou umístěny soubory pro stahování a odesílání dat
- 'File name format': parametr určený pro odesílání dat a který určuje, zda zvolíme soubor z mobilního zařízení nebo máme odesílat náhodně vygenerovaná data
- 'File': pro stahování zadáme název souboru, pro odesílání zvolíme soubor k odesílání.
- 'User', 'Password': jméno a heslo k FTP serveru
- 'File size (kB)': parametr volíme v případě, že odesíláme vygenerovaná data
- 'Preguard', 'Postguard': nastavení délky pauzy před a po vykonání celé funkce emailu

- 'Repeat action': počet iterací vykonání akci FTP
- 'Wi-Fi association': povoluje se zařízení připojit k dostupné Wi-Fi síti a pomocí ní zasílat data.

2.4.2.4 *Nastavení HTTP*



Obrázek 1.4: *Nastavení http*

- 'Command': 'Get' nebo 'Post'
- 'URL': adresa pro stahování nebo odesílání dat
- 'Security': nastavení parametrů pro přístup na server, když odesíláme data
- 'User': jméno uživatele HTTP serveru
- 'Password': heslo uživatele HTTP serveru
- 'Authentication': nastavení autentizace
- 'File size (kB)': aplikace vygeneruje soubor o požadované velikosti, určeno pro odesílání dat
- 'Additional parameters': možnost přiřadit párovou hodnotu, která je přiřazena k http 'Post' požadavku
- 'Preguard', 'Postguard': nastavení délky pauzy před a po vykonání celé funkce emailu
- 'Repeat action': počet iterací vykonání akci HTTP
- 'Wi-Fi association': povoluje se zařízení připojit k dostupné Wi-Fi síti a zasílat data pomocí ní

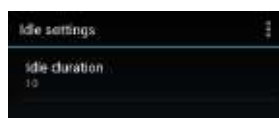
2.4.2.5 *Nastavení odezvy*



Obrázek 1.5: *Nastavení odezvy*

- 'Host': IP adresa nebo host serveru
- 'Packet size (bytes)': nastavení velikosti paketu, nejvyšší hodnota je 65500 bajtů.
- 'Timeout (s)': nastavení doby čekání požadavku odezvy v sekundách
- 'Number of pings': počet požadavků na odezvu
- 'Interval': prodleva mezi jednotlivými požadavky
- 'Preguard', 'Postguard': nastavení délky pauzy před a po vykonání celé funkce emailu
- 'Repeat action': počet iterací vykonání akce HTTP
- 'Wi-Fi association': povoluje se zařízení připojit k dostupné Wi-Fi síti a zasílat emaily pomocí ní.

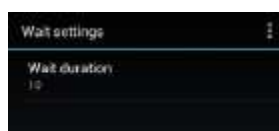
Idle:



Obrázek 1.6: *Nastavení klidového stavu*

- 'Idle duration': doba po kterou je zařízení v klidovém stavu, v sekundách

Wait:



Obrázek 1.7: *Nastavení čekání*

Použijeme čekací dobu, která je použita jako bezpečnostní čekání mezi různými akcemi. Hodnota je v sekundách.

2.4.2.6 *Odeslání logu pomocí FTP*



Obrázek 1.8: *Nastavení pro odeslání logu*

- 'Type': FTP protokol
- 'Upload path': celá FTP adresa k adresáři, kde má aplikace uložit log soubor
- 'User', 'Password': jméno a heslo k FTP serveru
- 'Wi-Fi association': povoluje se zařízení připojit k dostupné Wi-Fi síti a zasílat emaily pomocí ní

3 Praktické měření

Praktické měření bude probíhat pomocí aplikace TEMS Pocket 13.0 a 13.1, kde mobilní zařízení bude umístěno v poloze, které bude neměnné. Následně musí být mobilní zařízení umístěno tak, aby byly minimalizovány negativní vlivy okolí na prováděná měření. Aktuální pozice měření bude zaznamenána pomocí GPS přijímače.

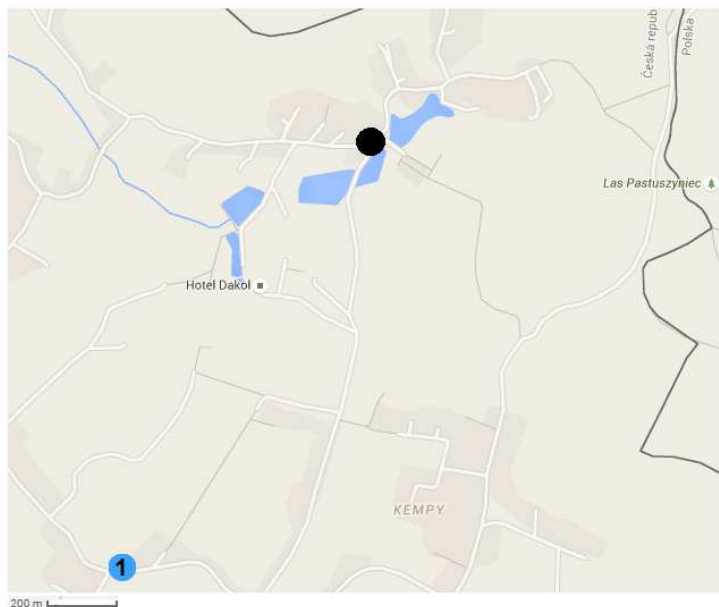
Pro praktické měření jsem měl dostupné dva různá koncová zařízení Sony Xperia Arc S LT18i a Sony Xperia Arc V LT25i, se zapůjčenou SIM kartou od společnosti T-Mobile. Kde s prvním jmenovaným zařízením jsem prováděl měření v roce 2015, druhé zařízení bylo použito v roce 2016. Obě měření probíhala v přibližně stejném období a tak můžu porovnat jednotlivá období a vyhodnotit jakých změn bylo dosaženo v propustnosti datové sítě. Bohužel obě zařízení mají totožnou technologii pouze pro 2. generaci a tak jsem srovnání použil pouze pro tuto generaci mobilních sítí.

3.1 Dlouhodobé měření

3.1.1 2. generace

Pro dlouhodobé měření druhé generace jsem zvolil lokalitu v Petrovicích u Karviné, kde v místě měřicího místa byla dostupná pouze technologie 2. generace. Lokalita byla zvolena z důvodu porovnání dvou měření v různých letech.

GPS souřadnice místa měření jsou 49.9153142N, 18.5633619E. V okolí místa se nachází několik rodinných domů, menších zahradní kolonie a státní hranice s Polskou Republikou. Na obrázku 1.9 černě je označeno měřicí místo a modře je znázorněn vysílač GMS signálu v nejbližším okolí.

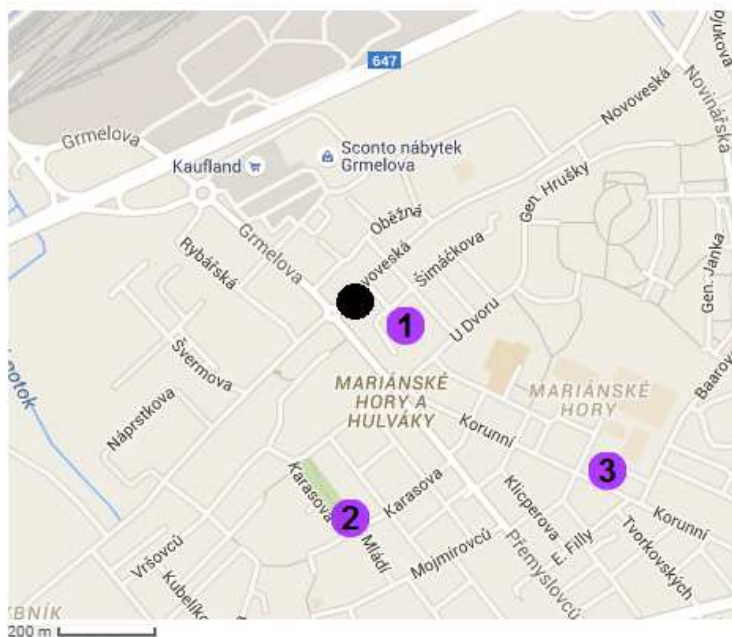


Obrázek 1.9: Okolí měřicího místa v Petrovicích u Karviné

3.1.2 3. generace

Měření probíhalo v Ostravě. GPS souřadnice místa měření 49.8339233N, 18.2514114E. Místo bylo zvoleno z důvodu umístění, kde v nejbližším okolí nalezneme bytovou zástavbu, obchodní dům, kancelářské budovy i průmyslovou výrobu. Měření probíhalo od 28.1.2016 do 5.2.2016. Zařízení bylo nastaveno v automatickém režimu, kde pro datové přenosy jsem využíval soubor o velikosti 20 000 000 bitů.

Na obrázku 1.10 je znázorněno okolí měřicího místa s naznačenými vysílači. Černě je označeno měřicí místo a fialově jsou znázorněny vysílače UMTS signálu v nejbližším okolí.



Obrázek 1.10: Okolí měřicího místa v Ostravě

Na obrázku 1.11 je znázorněno umístění koncového zařízení na měřicím místě v Ostravě. Koncové zařízení Sony Xperia V LT25i je bezprostředně umístěné u okna. Na obrázku můžeme pozorovat obytný dům, na kterém je umístěný vysílač UMTS od společnosti T-Mobile. Jedná se o vysílač číslo 1. z obrázku 1.11.



Obrázek 1.11: Umístění měřícího zařízení v Ostravě

3.1.3 4. generace

Dlouhodobé měření 4. generace nebylo provedeno z důvodu nedostupnosti technologie v měřících lokalitách, které jsem mohl využít pro takový typ měření. Metodiku pro 4. generací mobilních sítí jsem aplikoval v krátkodobém měření.

3.2 Krátkodobé měření

V krátkodobém měření pro potřeby přesného určení počtu opakování musíme provést předvýběr, pomocí kterého zjistíme směrodatnou odchylku, která je vyžadována pro výpočet. Po výpočtu provedeme vypočítaný počet opakování.

V měření sleduji tři měřené parametry: stahování dat, odesílání dat a odezvu. Pro potřeby výpočtu jsem potřeboval zjistit směrodatnou odchylku, kterou jsem vypočítal na základě testovacího měření, které jsem 5 krát opakoval. Následně jsem chtěl vypočítat skutečný potřebný počet měření se zvolenými parametry " α " a " D ". Hladina významnosti " α " jsem zvolil pro veškeré sledované parametry 90%.

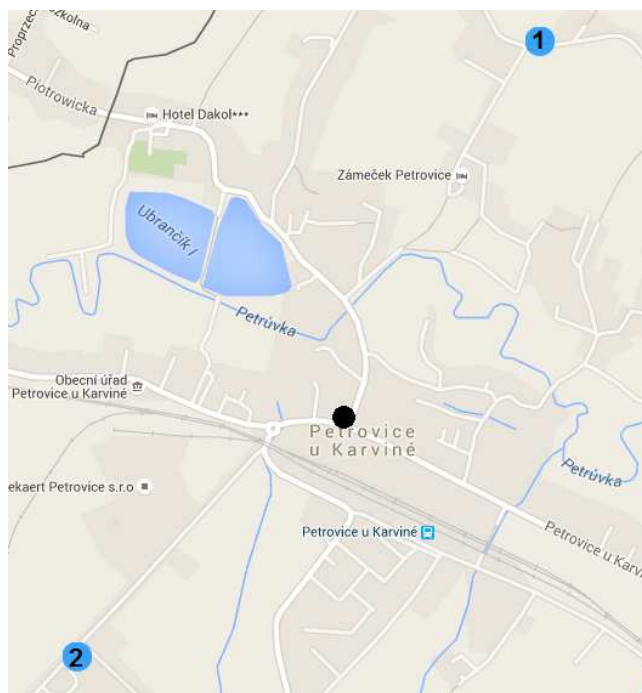
3.2.1 2. generace

Propustnost datové sítě jsem měřil v lokalitě Petrovice u Karviné. Kde po příjezdu na měřící místo jsem provedl testovací měření.

3.2.1.1 Lokalita Petrovice u Karviné

Provedl jsem mnou zvolený předvýběr, který činil 5 měření. Z naměřených hodnot jsem vypočítal směrodatnou odchylku.

GPS souřadnice místa měření jsou 49.8962808N, 18.5472461E. V okolí místa se nachází několik rodinných domů, základní škola, zdravotní středisko a fotbalový stadion. Na obrázku 1.12 černě je označeno měřící místo a modře jsou znázorněny vysílače GMS signálu v nejbližším okolí.



Obrázek 1.12: Okolí měřícího místa v Petrovicích u Karviné

Měření	DL [kbit/s]	UP [kbit/s]	Odezva [ms]
1	153	45	232
2	98	42	312
3	103	49	284
4	142	28	272
5	132	52	263
Směrodatná odchylka	21,60	8,32	26,16

Tabulka 1.9: Testovací měření 2. generace

Z testovacího měření jsem vypočítal směrodatnou odchylku a nyní můžeme dle vzorce 2.2 vypočítat potřebný počet opakování.

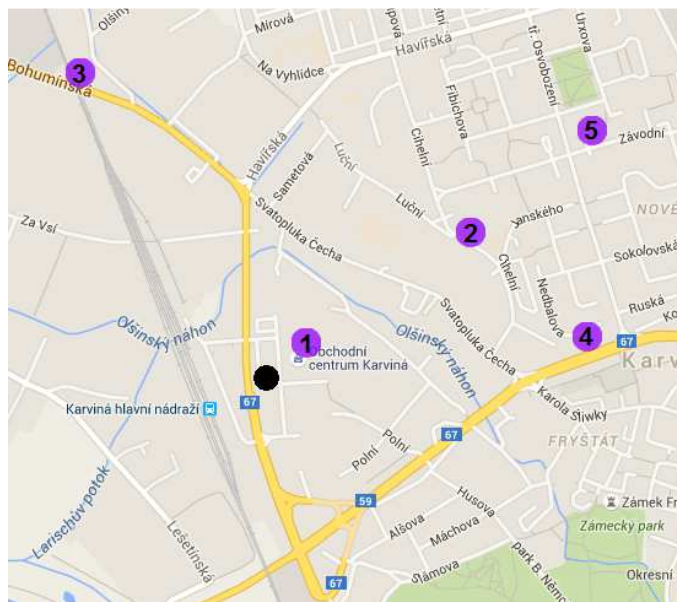
	DL	UP	Odezva
Směrodatná odchylka " σ "	21,60 kbit/s	8,32 kbit/s	26,16 ms
Velikost předvýběru	5	5	5
Hladina významnosti ($1-\alpha$)	0,1	0,1	0,1
Přesnost odhadu "D"	10 kbit/s	5 kbit/s	15 ms
Výpočet (vzorec 2.2)	21,20	12,60	13,83
Počet měření "N"	22	13	14

Tabulka 1.10: Výpočet počtu opakování 2. generace

S 90% pravděpodobnosti průměrnou hodnotu propustnosti ve směru ke koncovému zařízení zjistíme po opakování 22 měření a to s přesností ± 10 kbit/s. Propustnost ve směru od koncového zařízení zjistíme po 13 měření s přesností ± 5 kbit/s. Odezvu datové sítě zjistíme s přesností ± 15 ms po 14 opakování měření.

3.2.2 3. generace

Testovací měření jsem provedl v lokalitě Karviná na parkovišti mezi obchodním domem, autobusovým a vlakovým nádražím. GPS souřadnice místa měření jsou 49.8561031N, 18.5286958E. Na obrázku 1.13 černě je označeno měřicí místo a fialově jsou znázorněny vysílače UMTS signálu v nejbližším okolí.



Obrázek 1.13: Okolí měřicího místa v Karviné

Měření	DL [kbit/s]	UP [kbit/s]	Odezva [ms]
1	5451,11	2362,72	61
2	5687,22	1778,21	64
3	6888,00	2690,38	58
4	6094,81	2507,54	81
5	6631,42	3105,37	65
Směrodatná odchylka	544,46	434,02	7,98

Tabulka 1.11: *Testovací měření 3. generace*

Z testovacího měření jsem vypočítal směrodatnou odchylku a nyní můžeme dle vzorce 2.2 vypočítat potřebný počet opakování.

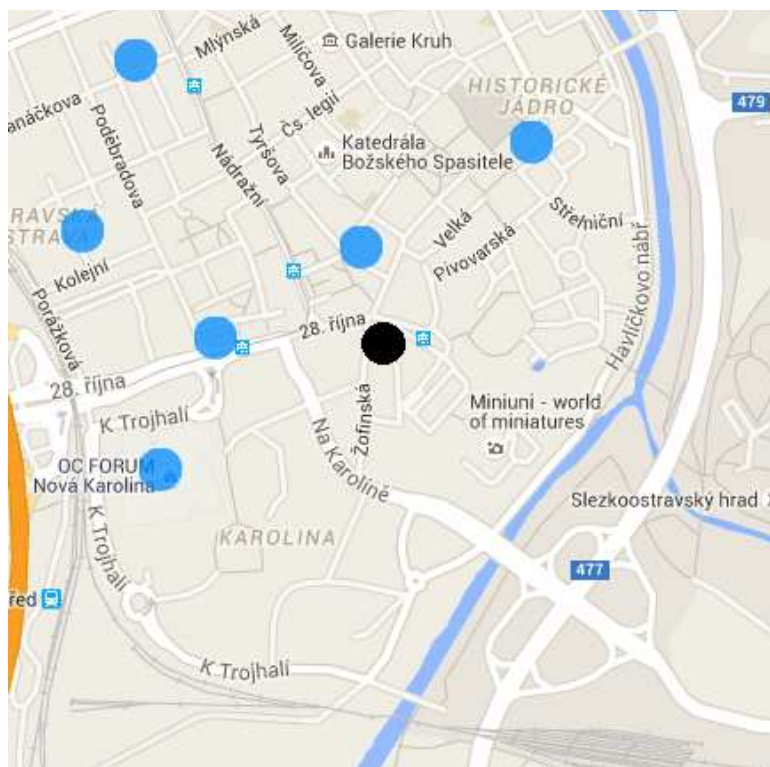
	DL	UP	Odezva
Směrodatná odchylka " σ "	544,47 kbit/s	434,02 kbit/s	7,98 ms
Velikost předvýběru	5	5	5
Hladina významnosti ($1-\alpha$)	0,1	0,1	0,1
Přesnost odhadu "D"	150 kbit/s	100 kbit/s	5 ms
Výpočet (vzorec 2.2)	59,88	85,61	11,59
Počet měření "N"	60	86	12

Tabulka 1.12: *Výpočet počtu opakování 3. generace*

S 90% pravděpodobnosti průměrnou hodnotu propustnosti ve směru ke koncovému zařízení zjistíme po opakování 60 měření a to s přesností ± 150 kbit/s. Propustnost ve směru od koncového zařízení zjistíme po 86 měření s přesností ± 100 kbit/s. Odezvu datové sítě zjistíme s přesností ± 5 ms po 12 opakování měření.

3.2.3 4. generace

Testovací měření jsem provedl v centru Ostravy. GPS souřadnice místa měření jsou 49.8326419N, 18.2900972E. Na obrázku 1.14 černě je označeno měřicí místo a modře jsou znázorněny vysílače LTE signálu v nejbližším okolí.



Obrázek 1.14: Okolí měřicího místa v Ostravě

Měření	DL [kbit/s]	UP [kbit/s]	Odezva [ms]
1	8591,50	14347,90	93
2	10698,80	8520,60	53
3	12761,90	8569,50	68
4	11699,20	8591,50	102
5	9890,90	10698,80	172
Směrodatná odchylka	1438,48	2258,5	41,08

Tabulka 1.13: Testovací měření 3. generace

Z testovacího měření jsem vypočítal směrodatnou odchylku a nyní můžeme dle vzorce 2.2 vypočítat potřebný počet opakování.

	DL	UP	Odezva
Směrodatná odchylka " σ "	1438,48 kbit/s	2258,55 kbit/s	41,08 ms
Velikost předvýběru	5	5	5
Hladina významnosti (1-" α ")	0,1	0,1	0,1
Přesnost odhadu "D"	350 kbit/s	500 kbit/s	25 ms
Výpočet (vzorec 2.2)	76,76	92,73	12,27
Počet měření "N"	77	93	13

Tabulka 1.14: Výpočet počtu opakování 4. generace

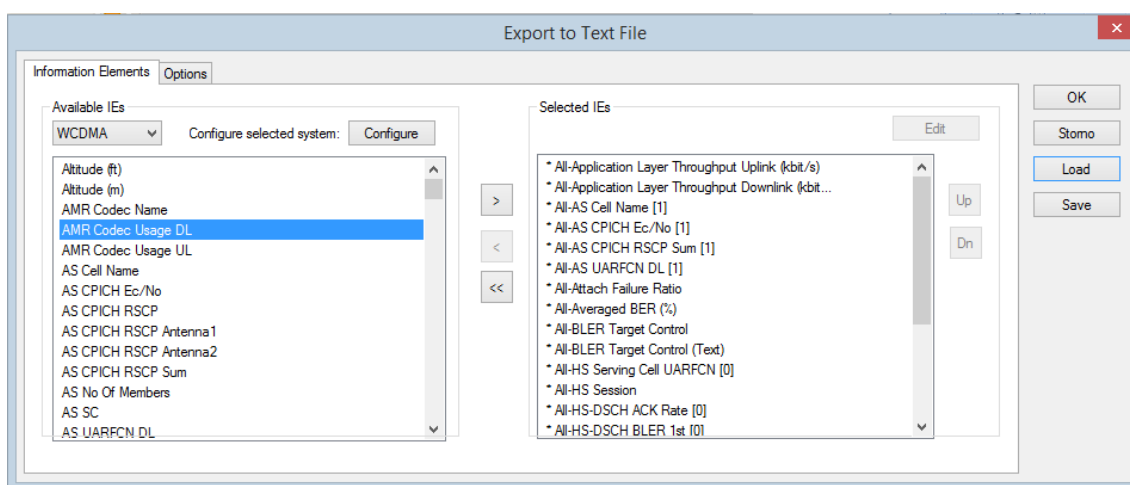
S 90% pravděpodobnosti průměrnou hodnotu propustnosti ve směru ke koncovému zařízení zjistíme po opakování 77 měření a to s přesností ± 350 kbit/s. Propustnost ve směru od koncového zařízení zjistíme po 93 měření s přesností ± 500 kbit/s. Odezvu datové sítě zjistíme s přesností ± 35 ms po 13 opakování měření.

3.3 Nástroje pro vyhodnocení měření

Pro analýzu hodnot jsem použil následující uvedené nástroje. Jednotlivé nástroje jsem použil z důvodu automatizace zpracování naměřených hodnot.

3.3.1 TEMS Export Tool

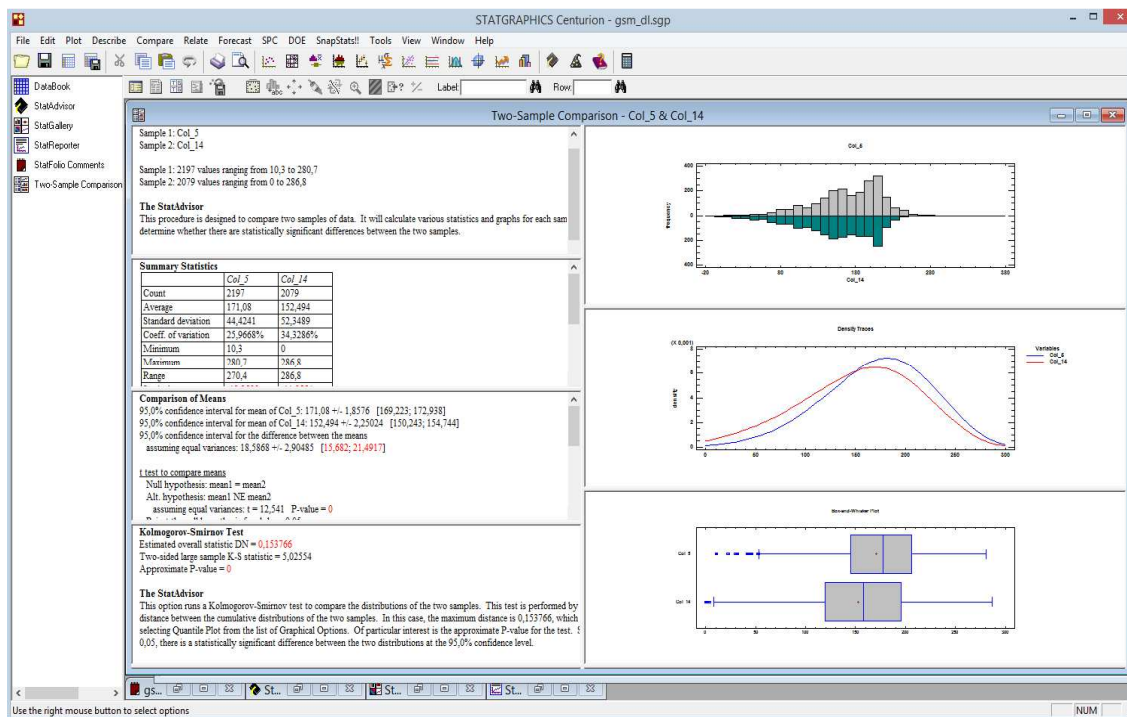
Základní nástroj společnosti ASCOM, který se specializuje na převod ze záznamového formátu do jiného námi zvoleného formátu. Využití nástroje bylo nezbytně nutné z důvodu nemožnosti strojového čtení výchozího kódovacího formátu záznamů pořízeného TEMS Pocket. Na obrázku 1.15 je zobrazen náhled nástroje, kde můžeme vybírat jednotlivé parametry, které se mají převést do nového výstupního souboru.



Obrázek 1.15: Výběr parametrů v TEMS Export Tool

3.3.2 STATGRAPHICS Centurion 16.1.11

Profesionální nástroj pro statistickou analýzu dat. Nástroj dokáže komplexně analyzovat vstupní informace dle nastavených parametrů. Pomocí statistického nástroje můžeme zobrazit různé typy grafů. Na obrázku 1.16 je zobrazeno prostředí nástroje, kde v hlavní části máme znázorněnou analýzu dvou vzorků dat.



Obrázek 1.16: *Prostředí STATGRAPHICS Centurion*

3.3.3 Visual Studio 2013

Do záznamového souboru se zapisují veškeré hodnoty, které TEMS Pocket zaznamená, to znamená, že výstupní záznamový soubor obsahuje spoustu informací, které jsou pro účely analýzy sledovaných údajů nepotřebné. Pro automatizaci zpracování výsledků jsem vytvořil program, který na vstupu obdrží specificky vytvořený soubor z TEMS Export Tool a ve výsledku budou data připravena pro statistický nástroj STATGRAPHICS Centurion.

Na obrázku 1.17 můžete pozorovat náhled na data, která jsou na výstupu z TEMS Export Tool. Kde můžete pozorovat ukázkou dat, která byla zaznamenána v průběhu jediné sekundy.

Time	MS	Dir	Message Type	Event	EventInfo	All-Application Layer Throughput Uplink (kbit/s)	All-Application Layer Throughput Downlink (kbit/s)	All-HS-DSCH ACK Rate[0]	All-HS-DSCH BLER 1st[0]
15:05:38.046	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4					0.	50.
15:05:38.115	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						
15:05:38.183	MS1		HSDPA UL HS-DPCCH Information Ver 2b					11.	16.66666603
15:05:38.205	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						10.
15:05:38.252	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						50.
15:05:38.323	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						
15:05:38.341	MS1		HSDPA UL HS-DPCCH Information Ver 2b					18.	25.
15:05:38.446	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						0.
15:05:38.454	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						100.
15:05:38.604	MS1		HSDPA UL HS-DPCCH Information Ver 2b					9.	0.
15:05:38.630	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						0.
15:05:38.729	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						0.
15:05:38.737	MS1		HSDPA UL HS-DPCCH Information Ver 2b					4.	0.
15:05:38.836	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						0.
15:05:38.851	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						0.
15:05:38.855	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						0.
15:05:38.955	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						0.
15:05:38.963	MS1		HSDPA UL HS-DPCCH Information Ver 2b					6.	100.
15:05:38.966	MS1		HSDPA HS Decode Status ver 4						

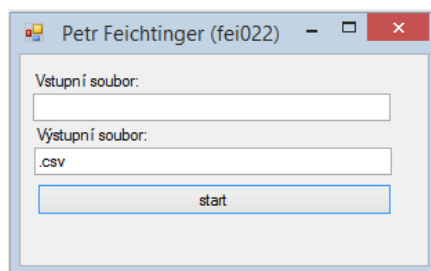
Obrázek 1.17: *Nezpracovaný výstup z TEMS Export Tool*

Pomocí vlastní aplikace jsem využil pouze potřebné informace, které jsou nezbytné pro analýzu dat. Na obrázku můžete pozorovat připravený vstup pro nástroj STATGRAPHICS Centurion.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15:05:37.688	DC1	HTTP	Get Message				12710,7	54,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:38.713	DC1	HTTP	Get Message				8119,4	27,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:39.687	DC1	HTTP	Get Message				7078,5	34,	9,090909004	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:40.648	DC1	HTTP	Get Message				5588,6	16,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:41.718	DC1	HTTP	Get Message				5098,9	31,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:42.701	DC1	HTTP	Get Message				5170,8	20,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:43.679	DC1	HTTP	Get Message				4401,9	16,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:44.692	DC1	HTTP	Get Message				3597,6	16,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:45.681	DC1	HTTP	Get Message				4245,2	21,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:46.691	DC1	HTTP	Get Message				4515,6	27,	40,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:47.680	DC1	HTTP	Get Message				4633,0	25,	100,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:48.717	DC1	HTTP	Get Message				5271,5	30,	20,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:49.712	DC1	HTTP	Get Message				5579,7	26,	25,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:50.716	DC1	HTTP	Get Message				3820,9	15,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:51.710	DC1	HTTP	Get Message				4245,2	14,	25,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:52.709	DC1	HTTP	Get Message				4768,0	26,	16,66666603	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:53.670	DC1	HTTP	Get Message				5644,0	27,	33,33333206	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:54.691	DC1	HTTP	Get Message				6867,4	27,	25,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:55.709	DC1	HTTP	Get Message				7358,7	37,	11,11111069	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	
15:05:56.667	DC1	HTTP	Get Message				6963,1	30,	0,	WCDM 4070	All-Serving Cell Name	-5.690000057	-77,19000244	

Obrázek 1.18: *Zpracovaný výstup z TEMS Export Tool*

Aplikace očekává na vstupu textový soubor ve formátu "csv", který zpracuje a uloží do výstupního souboru ve formátu "csv". Na obrázku 1.19 je zobrazen náhled aplikace.

Obrázek 1.19: *Uživatelské prostředí aplikace*

4 Analýza naměřených hodnot

V analýze naměřených hodnot je zobrazen přehled pro jednotlivé generace mobilních sítí. Pro druhou generaci mobilních sítí je zobrazen výsledek porovnání mezi dvěma různými období měření. V třetí generaci se zabývá analýzou dlouhodobého měření. Pro čtvrtou generaci mobilních sítí je uveden výsledek měření krátkodobého měření.

4.1 Dlouhodobé měření

V analýze naměřených hodnot v dlouhodobém měření se zabývá 2. a 3. generací mobilní datové sítě.

4.1.1 2. Generace

Analýza dat nám na vzorku dat napoví, jak se vyvíjela propustnost datové sítě v různých obdobích. V sledovaných obdobích porovnávám naměřené hodnoty mezi lety 2015 a 2016.

4.1.1.1 Naměřené hodnoty TEMS Pocket

V tabulce 1.9 jsou uvedeny výsledky výpočtů naměřených hodnot pro měření v roce 2015 a 2016.

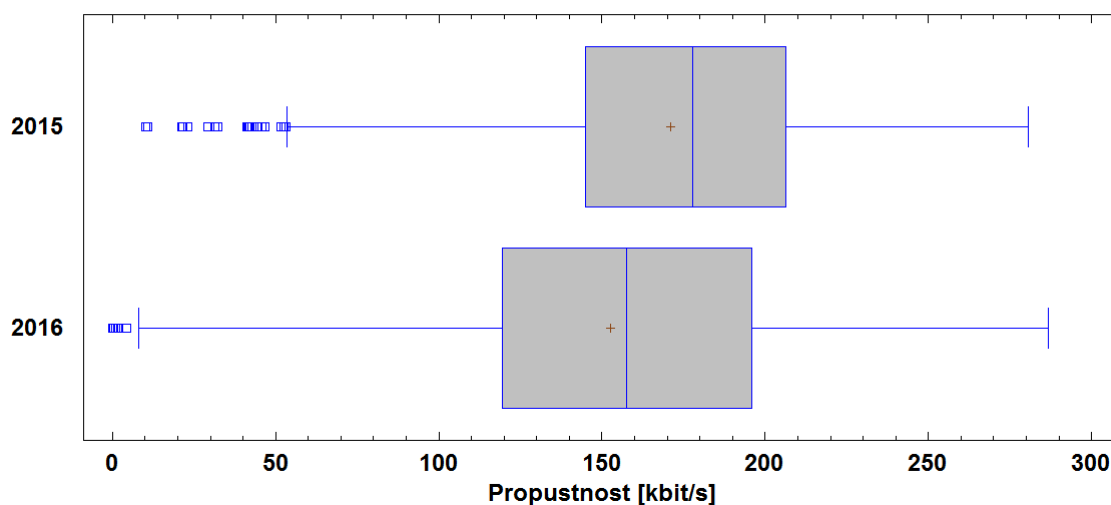
	Rok 2015		Rok 2016	
	DL	UP	DL	UP
Počet měření	2197	2003	2079	1849
Průměrná hodnota	171,08 kbit/s	116,99 kbit/s	152,49 kbit/s	55,05 kbit/s
Směrodatná odchylka	44,42 kbit/s	50,04 kbit/s	52,34 kbit/s	23,29 kbit/s
Minimum	10,30 kbit/s	30,06 kbit/s	0 kbit/s	3,90 kbit/s
Maximum	280,70 kbit/s	280,95 kbit/s	286,80 kbit/s	177,50 kbit/s
Šikmost	-0,6406	0,4523	-0,6100	0,7375
Špičatost	0,1264	-0,3200	-0,1825	1,5756
Medián	177,80 kbit/s	109,73 kbit/s	157,60 kbit/s	53,30 kbit/s
Spodní kvartil	145,00 kbit/s	81,07 kbit/s	119,50 kbit/s	38,80 kbit/s
Horní kvartil	206,70 kbit/s	159,48 kbit/s	195,80 kbit/s	68,70 kbit/s
Variační koeficient	25,96%	42,72%	34,32%	42,32%

Tabulka 1.15: Přehled vypočtených hodnot pro roky 2015 a 2016

Význam jednotlivých hodnot naleznete v druhé kapitole.

4.1.1.2 Grafické znázornění naměřených hodnot

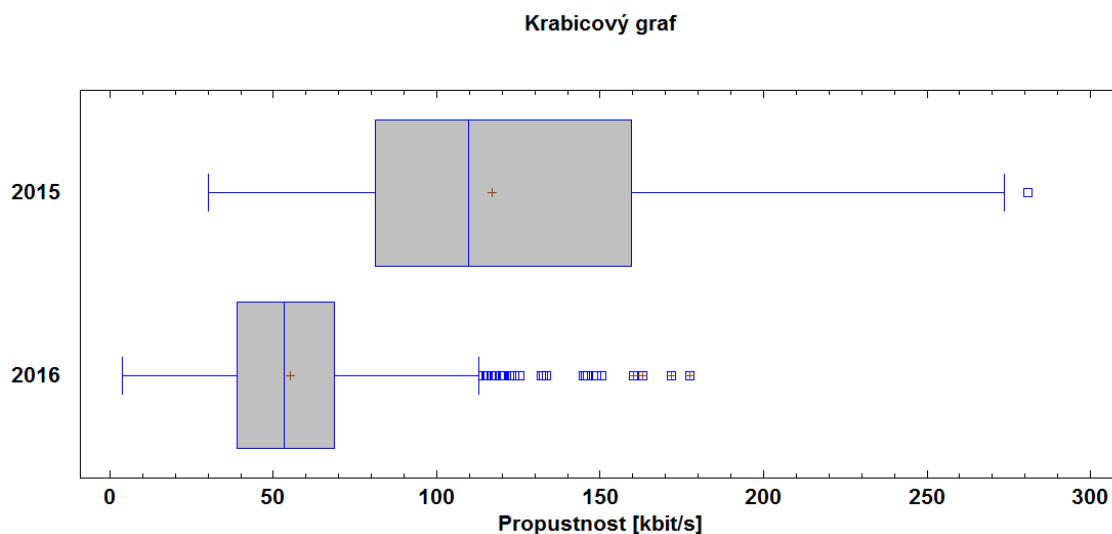
Krabicový graf



Obrázek 1.20: Krabicový graf propustnosti směrem ke koncovému zařízení

Přenosové rychlosti jsou rozloženy v široké škále hodnot – od 0 kbit/s až po přibližně 280 kbit/s. Z grafu nelze přesně určit počet naměřených hodnot v blízkosti minima a maxima, ale z tvaru a poměru velikostí mezi obdélníkem, délkou a umístěním úseček lze velmi dobře odhadnout charakter rozdělení hodnot. Zároveň jsme při vytváření krabicového grafu nechali zobrazit extrémní hodnoty jako samostatné body. Pokud bychom ponechali zobrazení grafu bez extrémních bodů, mohli bychom se mylně domnívat, že mezi hodnotami 60 kbit/s až 0 kbit/s leží více hodnot – graf by pak totiž obsahoval úsečku plynule procházející z levé hranice šedého obdélníku až k bodu 0 kbit/s.

Z grafu je patrné, že v roce 2015 byla průměrná propustnost datové sítě 2. generace ve směru k uživateli o 13,33% vyšší, než v roce 2016.



Obrázek 1.21: *Krabicový graf propustnosti směrem od koncového zařízení*

Ve směru od koncového zařízení můžeme pozorovat znatelný rozdíl v průměrné rychlosti, kde v roce 2015 se pohybovala kolem hodnoty 116,99 kbit/s a v roce 2016 okolo hodnoty 55,05 kbit/s. S jedním z důvodů může být změna podporované třídy ze strany operátora. Z naměřených maximálních hodnot můžeme odvodit, že v roce byla pro síť druhé generace podporována třída 34 s maximální hodnotou v obou směrech 296 kbit/s a naměřená hodnota byla přibližně 280 kbit/s. V roce 2016 můžeme z naměřených hodnot odvodit třídu 32, kde ve směru ke koncovému zařízení je podporována maximální hodnota 296 kbit/s a naměřili jsme 286,8 kbit/s. Ve směru od koncového zařízení jsem zaznamenal maximální přenosovou rychlost 177,5 kbit/s což by odpovídalo třídě 32, kde maximální rychlost je stanovena na 177,6 kbit/s.

4.1.2 3. generace

TEMS Pocket v průběhu měření zaznamenal 14700 údajů o přenosových rychlostech a době odezvy.

4.1.2.1 Naměřené hodnoty TEMS Pocket

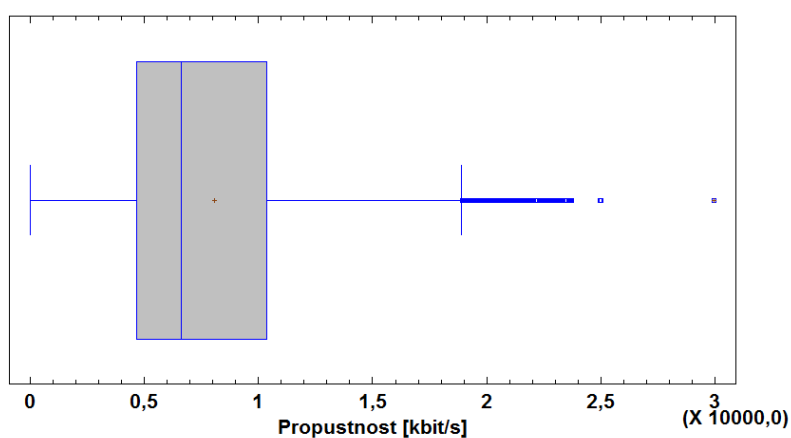
V tabulce jsou znázorněny vypočtené hodnoty pro jednotlivé typy měření.

	DL	UP	Odezva
Počet měření	4900	4900	4900
Průměrná hodnota	8090,00 kbit/s	3313,32 kbit/s	152,31 ms
Směrodatná odchylka	5195,83 kbit/s	1064,35 kbit/s	259,63 ms
Minimum	0 kbit/s	14,10 kbit/s	30,00 ms
Maximum	29946,90 kbit/s	5938,60 kbit/s	1988,00 ms

Šikmost	0,957317	-0,965318	3,1786800
Špičatost	0,437458	0,002271	10,232200
Medián	6629,30 kbit/s	3759,00 kbit/s	65,00 ms
Spodní kvartil	4682,80 kbit/s	2602,70 kbit/s	50,00 ms
Horní kvartil	10367,10 kbit/s	4068,20 kbit/s	97,00 ms
Variační koeficient	64,22%	32,13%	170,46%

Tabulka 1.16: Přehled vypočtených hodnot pro třetí generaci mobilních sítí

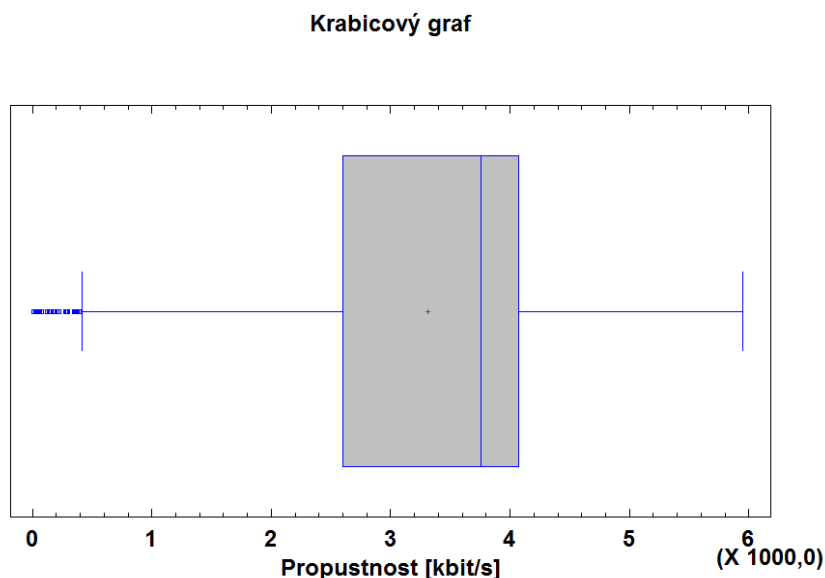
Krabicový graf



Obrázek 1.22: Propustnost ke koncovému zařízení

S 95% pravděpodobností můžeme říci, že průměrná hodnota pro rychlost ke koncovému zařízení je 8090,28 kbit/s \pm 145,48 kbit/s. Průměrná hodnota leží v intervalu [7944,80 kbit/s; 8235,76 kbit/s].

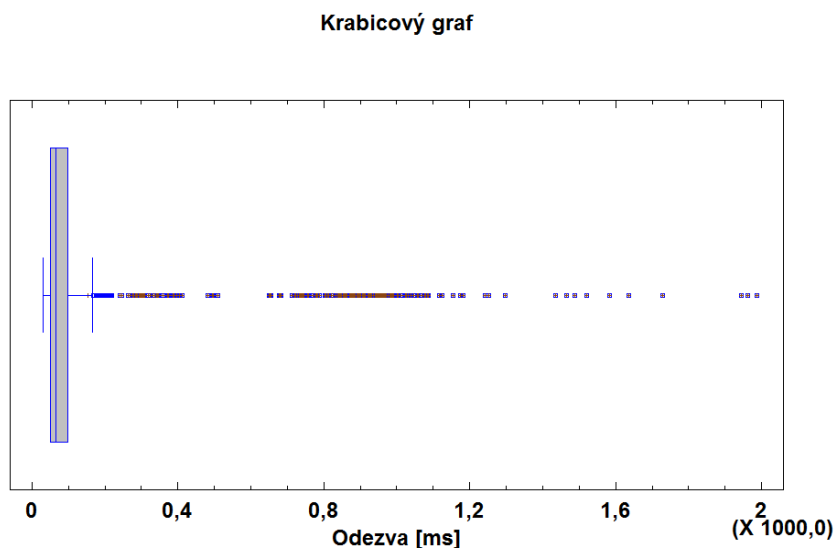
Z krabicového grafu (obrázek 1.22) můžeme pozorovat, že střední polovina všech naměřených hodnot leží mezi hodnotami 1. a 3. kvartilu (4682,80 kbit/s a 10367,10 kbit/s). Z grafu je patrné, že existují i odlehlá pozorování, která se pohybují nad hranicí 19000 kbit/s a pro účely analýzy jsou statisticky bezvýznamné, takový počet hodnot je menší než 5% a ztrácí tak na významnosti.



Obrázek 1.23: *Propustnost ve směru od koncového zařízení*

S 95% pravděpodobností můžeme říci, že průměrná hodnota pro rychlost od koncového zařízení je 3313,32 kbit/s \pm 29,80 kbit/s. Průměrná hodnota leží v intervalu [3283,52 kbit/s; 1085,85 kbit/s]

Z krabicového grafu (obrázek 1.22) můžeme pozorovat, že střední polovina všech naměřených hodnot leží mezi hodnotami 1. a 3. kvartilu (2602,70,80 kbit/s a 4068,20 kbit/s). Z grafu je patrné, že existují i odlehlá pozorování, která se pohybují pod hranicí 200 kbit/s a pro účely analýzy jsou statisticky bezvýznamné, takový počet hodnot je menší než 5% a ztrácí tak na významnosti.



Obrázek 1.24: *Odezva*

S 95% pravděpodobností můžeme říci, že průměrná hodnota odezvy koncového zařízení je 152,31 ms +/- 7,26 ms. Průměrná hodnota leží v intervalu [145,04 ms; 159,58 ms]

Z krabicového grafu (obrázek 1.23) můžeme pozorovat, že střední polovina všech naměřených hodnot leží mezi hodnotami 1. a 3. kvartilu (50 ms a 97 ms). Z grafu je patrné, že existují i odlehlá pozorování, která se pohybují nad hranicí 170 ms a pro účely analýzy jsou statisticky bezvýznamné, takový počet hodnot je menší než 5% a ztrácí tak na významnosti.

4.2 Krátkodobé měření

V analýze naměřených hodnot se dozvíme, zda vypočtený počet opakování bude dostačující pro určení průměrné hodnoty se zvolenou hladinou významnosti.

4.2.1 2. generace

Analýza hodnot probíhala z měření v lokalitě Petrovice u Karviné.

4.2.1.1 Naměřené hodnoty TEMS Pocket

V tabulce 1.17 jsou znázorněny vypočtené hodnoty pro jednotlivý typ měření, kde význam jednotlivých hodnot je popsán v 2. kapitole.

	DL	UP	Odezva
Počet měření	22	13	14
Průměrná hodnota	138,46 kbit/s	42,39 kbit/s	274,78 ms
Směrodatná odchylka	10,61 kbit/s	10,87 kbit/s	36,97 ms
Minimum	117,65 kbit/s	23,12 kbit/s	221,17 ms
Maximum	151,61 kbit/s	57,68 kbit/s	350,32 ms
Šikmost	-0,4031	-0,2618	0,4310
Špičatost	-1,0168	-0,9280	-0,3389
Medián	139,50 kbit/s	42 kbit/s	267,5 ms
Spodní kvartil	130,30 kbit/s	36,11 kbit/s	247,00 ms
Horní kvartil	149,10 kbit/s	52,06 kbit/s	312,24 ms
Variační koeficient	7,66 %	25,65 %	13,45 %

Tabulka 1.17: Krátkodobé měření 2. generace

4.2.2 3. generace

Analýza se zabývá měřením v lokalitě Karviná.

4.2.2.1 Naměřené hodnoty TEMS Pocket

V tabulce 1.18 jsou znázorněny vypočtené hodnoty pro jednotlivé typy měření, kde význam jednotlivých hodnot je popsán v 2. kapitole.

	DL	UP	Odezva
Počet měření	60	13	14
Průměrná hodnota	3601 kbit/s	42,39 kbit/s	274,78 ms
Směrodatná odchylka	1826,53 kbit/s	10,87 kbit/s	36,97 ms
Minimum	1130,41 kbit/s	3,12 kbit/s	221,17 ms
Maximum	7888,08 kbit/s	57,68 kbit/s	350,32 ms
Šikmost	0,7633	-0,2618	0,4310
Špičatost	-0,7638	-0,9280	-0,3389
Medián	2856,51 kbit/s	42 kbit/s	267,5 ms
Spodní kvartil	2258,50 kbit/s	36,11 kbit/s	247,00 ms
Horní kvartil	5107,55 kbit/s	52,06 kbit/s	312,24 ms
Variační koeficient	7,66 %	25,65 %	13,45 %

Tabulka 1.18: Krátkodobé měření 3. generace

4.2.3 4. generace

Analýza se zabývá měřením v lokalitě Ostrava.

4.2.3.1 Naměřené hodnoty TEMS Pocket

V tabulce 1.19 jsou znázorněny vypočtené hodnoty pro jednotlivý typ měření, kde význam jednotlivých hodnot je popsán v 2. kapitole.

	DL	UP	Odezva
Počet měření	77	93	13
Průměrná hodnota	12398,70 kbit/s	6870,47 kbit/s	81,23 ms
Směrodatná odchylka	6898,75 kbit/s	5431,83 kbit/s	33,993 ms
Minimum	1048,50 kbit/s	440,60 kbit/s	48,00 ms
Maximum	33530,60 kbit/s	20939,8 kbit/s	172,00 ms

Analýza naměřených hodnot

Šikmost	1,2731	1,2235	1,7046
Špičatost	2,2177	0,3246	3,5273
Medián	11398,00 kbit/s	4729,10 kbit/s	68,00 ms
Spodní kvartil	8668,30 kbit/s	2908,00 kbit/s	62,00 ms
Horní kvartil	13217,40 kbit/s	9300,30 kbit/s	93,00 ms
Variační koeficient	55,64 %	79,06 %	41,84 %

Tabulka 1.19: *Krátkodobé měření 4. generace*

Závěr

V průběhu práce na této diplomové práci jsem získal přehled o možnostech monitorování mobilních datových sítí, především hlubší teoretické znalosti o problematice využití statistických postupů k vyhodnocení naměřených dat. Návrhu metodiky jsem věnoval velkou část této práce, protože samotná analýza naměřených hodnot má pouze ověřit navrhnutou metodiku. V diplomové práci převažuje tabulkový zápis z naměřených hodnot, tento způsob pro vyjádření naměřených hodnot považuji za vhodný prostředek pro znázornění naměřených hodnot. Grafické znázornění není vhodné pro měření, které obsahuje desítky až tisíce naměřených hodnot, které můžou oscilovat mezi minimální a maximální hodnotou v nepředvídatelných okolnostech. Pro takové měření by většina grafů vypadala obdobně jak graf z přílohy B.

Pro měření jsem používal zapůjčené koncové zařízení s aplikaci TEMS Pocket a SIM kartou společnosti T-Mobile, která podporovala nejnovější technologie 4. generace mobilní sítě. Možnosti nastavení TEMS Pocket jsou popsány v kapitole 4.2.1. Pro vyhodnocení měření jsem použil různé nástroje, které jsou popsány v kapitole 3.3.

Návrh metodiky jsem praktické použil a úspěšně otestoval na jednoduchých příkladech. Získané zkušenosti mi společně se znalostí jednotlivých mobilních technologií umožnily navrhnout vlastní metodiku, která se zaměřuje na statistickou analýzu naměřených dat, která je vhodná pro vyhodnocení libovolného měření, které získáte pozorováním vámi zvoleného jevu.

Použitá literatura

- [1] BANNISTER, Jeffrey, et al. Convergence Technologies for 3G Networks IP, UMTS, EGPRS and ATM. [s.l.] : John Wiley & Sons Ltd, 2004. 650 s. ISBN 0-470-86091-X.
- [2] DAHLMAN, Erik, et al. 3G Evolution : HSPA and LTE for Mobile Broadband. [s.l.] : Academic Press, 2007. 448 s. ISBN 9780123725332.
- [3] HOLMA, Harri, TOSKALA, Antti. WCDMA for UMTS : Radio Access for Third Generation Mobile Communications. [s.l.] : John Wiley & Sons, Ltd, 2004. 450 s. ISBN 0-470-87096-6.
- [4] AFTAB, Ahmad. WIRELESS AND MOBILE. [s.l.] : John Wiley & Sons, Inc, 2004. 346 s. [5] ALI ABU-RGHEFF, Mosa. Introduction to CDMA Wireless Communications. [s.l.] : Academic Press, 2007. 614 s. ISBN 978-0-75-065252-0.
- [5] 3GPP TS 27.007 V8.5.0 : 2008-09-24. AT command set for User Equipment (UE) (Release 8).
- [6] HOLMA, Harri, TOSKALA, Antti. HSDPA/HSUPA for UMTS : High Speed Radio Access for Mobile Communications. [s.l.]. 2006th edition. West Sussex, England : John Wiley & Sons Ltd, 2006. 245 s.
- [7] HOLMA, Harri, TOSKALA, Antti. WCDMA for UMTS : HSPA Evolution and LTE. 2007th edition. West Sussex, England : John Wiley & Sons Ltd, 2007. 539 s. ISBN 978-0-470-31933-8.
- [8] KARIM, M. R., SARRAF, Mohsen. W-CDMA and cdma2000 for 3G mobile networks. [s.l.] : McGraw-Hill Professional, 2002. 384 s. ISBN 0071385134.
- [9] SESIA, Stefania, TOUFIK, Issam, BAKER, Matthew. LTE, The UMTS Long Term Evolution : From Theory to Practice. 1st edition. Chichester (UK) : John Wiley & Sons Ltd, 2009. 648 s. ISBN 978-0-470-69716-0.
- [10] PROKOPEC, Jan, HANUS, Stanislav. Systémy mobilních komunikací. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2008. 134 s. ISBN 978-80-214-3791-3.

Seznam příloh

Příloha A:	Tabulkové hodnoty.....	I
Příloha B:	Graf naměřených hodnot 3. generace datové sítě.....	ii

Příloha A: *Tabulkové hodnoty*

Tabulka A: Kvantily normovaného normálního rozdělení

P	u_P	P	u_P	P	u_P	P	u_P
0,50	0,000	0,75	0,674	0,950	1,645	0,975	1,960
0,51	0,025	0,76	0,706	0,951	1,655	0,976	1,970
0,52	0,050	0,77	0,739	0,952	1,665	0,977	1,995
0,53	0,075	0,78	0,772	0,953	1,675	0,978	2,014
0,54	0,100	0,79	0,806	0,954	1,685	0,979	2,034
0,55	0,126	0,80	0,842	0,955	1,695	0,980	2,054
0,56	0,151	0,81	0,878	0,956	1,706	0,981	2,075
0,57	0,176	0,82	0,915	0,957	1,717	0,982	2,097
0,58	0,202	0,83	0,954	0,958	1,728	0,983	2,120
0,59	0,228	0,84	0,994	0,959	1,739	0,984	2,144
0,60	0,253	0,85	1,036	0,960	1,751	0,985	2,170
0,61	0,279	0,86	1,080	0,961	1,762	0,986	2,197
0,62	0,305	0,87	1,126	0,962	1,774	0,987	2,226
0,63	0,332	0,88	1,175	0,963	1,787	0,988	2,257
0,64	0,358	0,89	1,227	0,964	1,799	0,989	2,290
0,65	0,385	0,90	1,282	0,965	1,812	0,990	2,326
0,66	0,412	0,905	1,311	0,966	1,825	0,991	2,366
0,67	0,440	0,910	1,341	0,967	1,838	0,992	2,409
0,68	0,468	0,915	1,372	0,968	1,852	0,993	2,457
0,69	0,496	0,920	1,405	0,969	1,866	0,994	2,512
0,70	0,524	0,925	1,440	0,970	1,881	0,995	2,576
0,71	0,553	0,930	1,476	0,971	1,896	0,996	2,652
0,72	0,583	0,935	1,514	0,972	1,911	0,997	2,748
0,73	0,613	0,940	1,555	0,973	1,927	0,998	2,878
0,74	0,643	0,945	1,598	0,974	1,943	0,999	3,090

Bodový graf

